



Vela Luka, Croatia, 23 - 25 June 2016

International Conference
MATRIB 2016
MATERIALS, TRIBOLOGY, RECYCLING

MEHANIČKA SVOJSTVA ORTOPEDSKIH GIPSEVA

MECHANICAL PROPERTIES OF ORTHOPEDIC CASTS

Luka Crnčević¹, Tatjana Haramina¹, Anko Antabak²

¹ Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, Zagreb, Republika Hrvatska

² Klinički bolnički centar-Zagreb, Klinika za kirurgiju, Kišpatićeva 12, Zagreb, Republika Hrvatska

Sažetak

Gipsani zavoji često se koriste za imobilizaciju ortopedskih ozljeda. Prilikom njihovog namakanja u vodi dolazi do egzotermne reakcije, a oslobođena toplina može dovesti do nastanka opekotina na koži. Nakon omatanja zavoja i namakanja vodom nastaje slojeviti kompozit kojemu je matrica medicinski gips, a ojačalo pamučna mrežasta gaza. U ovom radu ispitan je utjecaj temperature sadrenja i debljine na mehanička svojstva gipsanih zavoja od triju različitih proizvođača. Zavoji od 10 i 15 slojeva su načinjeni pri različitim temperaturama sadrenja. Trotočkastim ispitivanjem određena su mehanička svojstva pri savojnom opterećenju. Praćena je promjena temperature sadrenja tijekom očvršćivanja gipsanog zavoja.

Ključne riječi: *Gips, sadra, egzotermna reakcija, modul elastičnosti, savojna čvrstoća*

Abstract

Orthopedic plaster casts are often used for immobilization of orthopaedic injuries. While they are soaked in water, an exothermic reaction occurs and released heat can cause skin burns. After wrapping and soaking the plaster, a new layered composite is made whose matrix is medical plaster and its reinforcement is mesh gauze made of cotton. In this study effect of temperature of casting and thickness of layers on mechanical properties of orthopedic plaster casts from three different manufacturers have been made. Plasters are made of 10 and 15 layers at different temperatures of casting. Mechanical properties are determined under flexural load by means of the three point bending test. The temperature change of casting is measured during the curing of orthopedic plaster casts.

Keywords: *Gypsum, orthopedic plaster cast, exothermic reaction, flexural modulus, flexural strength*

1. UVOD

Zdravstvene ustanove u Republici Hrvatskoj za imobilizaciju prijeloma koriste sadrene (gipsane) zavoje više različitih proizvođača. U pravilu svi su deklarirani kao brzo vezujući, sličnih karakteristika, no međusobno se razlikuju fizikalnim svojstvima. Sadreni zavoji trebaju omogućiti lako modeliranje u različite oblike bez toplinskih i alergijskih učinaka na koži. Svojstva sadrenih zavoja, treba dobro poznavati jer razlike u masi, gustoći i brzini sušenja pojedinog proizvoda mogu bitno izmijeniti postupak izrade imobilizacijske udloge. Krutost (modul elastičnosti) i čvrstoća (savojna čvrstoća) izrađenih sadrenih pripravaka izravno određuju funkcionalnost načinjene sadrene imobilizacije [1].

Fizikalna svojstva sadrenih zavoja bitan su čimbenik u ostvarenju osnovne funkcije sadrenih imobilizacija (zadržavanje ulomaka kosti u pravilnom položaju), a time izravno utječu na brzinu i kvalitetu cijeljenja prijeloma.

Ovisnost savojnih svojstava, modula i čvrstoće, o broju sadrenih slojeva, temperaturi vode sadrenja i brzini sušenja do sada nije bio poznat našoj stručnoj medicinskoj zajednici. Ta kliničarima važna svojstva proizvođači sadrenih zavoja nemaju obavezu precizno deklarirati na svom proizvodu, pa upravo zbog toga je došlo do ovakvog istraživanja.

2. EKSPERIMENTALNI DIO

U radu su ispitana mehanička svojstva gipsanih zavoja izrađena od 10 i 15 slojeva gipsanog zavoja, s vodom iz vodovoda temperature 22 °C i 34 °C.

Ispitni materijali :

- Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka
- Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija
- Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska

2.1. Izrada gipsanih kompozita

Eksperiment je proveden u ventiliranoj prostoriji regulirane vlage i temperature. Postupak izrade kompozita započinje izrezivanjem sadrenih zavoja na dimenzije 10x10 cm (slika 1).



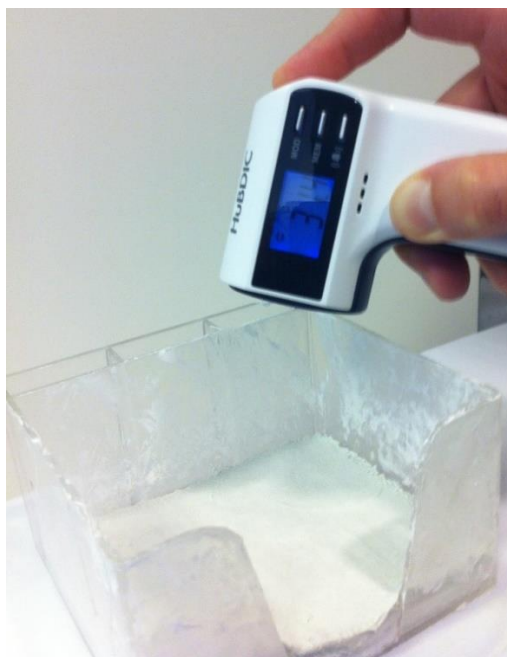
Slika 1. Priprema sadrenih zavoja Safix plus, veličina 10x10 cm [2]

Nakon izrezivanja, provodi se postupak sadrenja gdje se zavoji kroz 3 sekunde potapaju u vodu, nakon toga se uklanja višak vode, te se slažu u željeni broj slojeva. Dolazi do egzotermne reakcije koja dovodi do porasta temperature zavoja. Za svako sadrenje pripremala se nova čista voda, kontrolirane temperature.

Izrađene su ploče od 10, 15 i 30 slojeva. Za izradu ploča od 10 slojeva koristila se voda iz vodovoda temperature 22 °C, za ploče od 15 slojeva voda temperature 34 °C i voda temperature 34 °C za ploče od 30 slojeva.

2.2. Mjerenje promjene površinske temperature tijekom sadrenja

Mjerenje površinskih temperatura pločica započeto je u drugoj minuti nakon uranjanja sadrenog zavoja u vodu. Mjerenje temperature se provodilo svakih 30 sekundi u vremenskom periodu od 20 minuta. Temperatura na površini mjerena je s FS300 Non-Contact Infrared Thermometer, HuBDIC Co. Ltd, Anyang. Na slici 2 prikazan je postupak mjerenja površinske temperature. Od potapanja do početka mjerenja priprava je modeliran radi ravnomjerne debljine i što homogenije popunjenosti slojeva.



Slika 2. Mjerenje površinske temperature [3]

2.3. Mjerenje vlažnosti

Za mjerenje vlažnosti korišten je profesionalni mjerač vlage, Gann Hydromette Compact B, (Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH, Gerlingen, Njemačka). Postupak mjerenja vlažnosti prikazan je na slici 3.



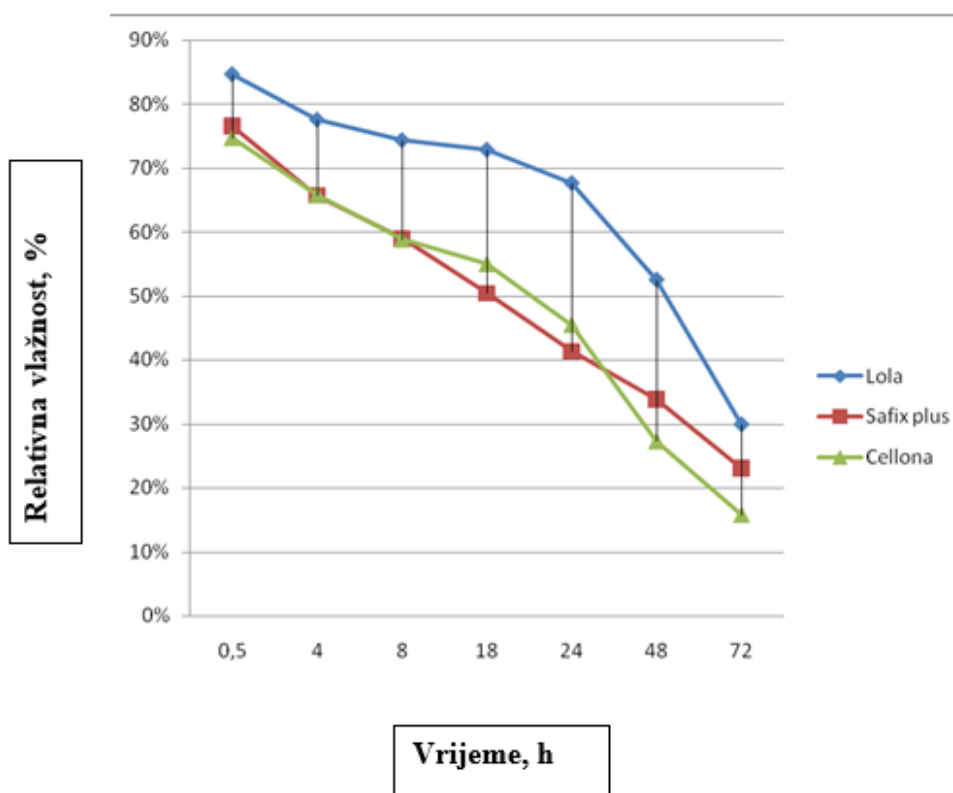
Slika 3. Mjerenje vlažnosti sadrene pločice [2]

Prikaz prosječnih vrijednosti mjerenja vlažnosti i gustoće prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Fizikalna svojstva ispitnih materijala

	Cellona	Gipsan	Safix
Prosječna gustoća originalnog pakiranja zavoja	0,52 g/cm ³	0,5 g/cm ³	0,38 g/cm ³
Prosječna gustoća 3 dana nakon sadrenja	1,15 g/cm ³	1,10 g/cm ³	1,00 g/cm ³
Prosječna vlažnost 3 dana nakon sadrenja	16 %	30 %	24 %

Mjerenje vlažnosti gipsanih kompozita započeto je 30 minuta nakon završne faze modeliranja gipsa, a vlažnost se dodatno mjerila nakon 4, 8, 18, 24, 48 i 72 sata. Najveću brzinu sušenja imao je sadreni zavoj Cellona, u prvih pola sata izgubio je 25% vlažnosti. Nakon 18 sati od sadrenja vlažnost je pala na 50%, a za tri dana vlažnost imobilizacije je bila tek 16 %. Sličan je tijek sušenja i pripravaka načinjenih od Safix plus sadrenog zavoja, koji se malo sporije sušio nakon 24 sata. Najlošije rezultate pokazao je Gipsan, koji je nakon pola sata zadržao 85% vlažnosti, nakon 18 sati 73%, nakon 48 sati 53%, te nakon 72 sata 30% vlažnosti. Deseti dan nakon sadrenja, a prije određivanja krutosti i čvrstoće, sadržaj vlage u svim pločicama bio je manji od 15 %. Promjena relativne vlažnosti u vremenu prikazana je na slici 4.



Slika 4. Tijek sušenja sadrenih pločica [2]

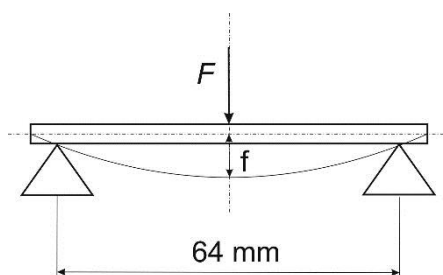
2.4. Određivanje savojnog modula elastičnosti i savojne čvrstoće

Ispitivanje je provedeno na univerzalnoj kitalici (ZMG VEB Thueringer Industriewerk, Rauenstein, Njemačka) mjernog područja od 0 do 4800 N. Kitalica je prikazana na slici 5.



Slika 5. Univerzalna kidalica

Na kidalici je provedeno ispitivanje metodom savijanja u tri točke gdje se ispitno tijelo postavlja na dva oslonca razmaka L , a potom se u sredini, na $L/2$, postepeno opterećuje silom okomito na ispitno tijelo (Slika 6).



Slika 6. Metoda savijanja u tri točke

Mjeri se sila F i progib f iz kojih se računa naprezanje i istežanje uz pomoć dimenzija ispitnih tijela i razmaka između oslonaca L . Mjerenje se provodi do konačnog pucanja epruvete pri maksimalnoj sili.

Naprežanje se računa prema izrazu:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1)$$

gdje je :

σ - naprežanje

F - sila

L - razmak između oslonaca

b - širina epruvete

h - debljina epruvete

Istezanje se računa prema izrazu :

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot f \cdot h}{L^2} \quad (2)$$

gdje je:

f - progib

h - debljina epruvete

L - razmak između oslonaca

Savojna čvrstoća računa se prema izrazu :

$$R_{ms} = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (3)$$

gdje je:

R_{ms} – savojna čvrstoća

F_{max} – maksimalna sila

L – razmak između oslonaca

b – širina epruvete

h – debljina epruvete

Savojni modul elastičnosti računa se prema izrazu:

$$E_s = \frac{dF}{df} \cdot \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \quad (4)$$

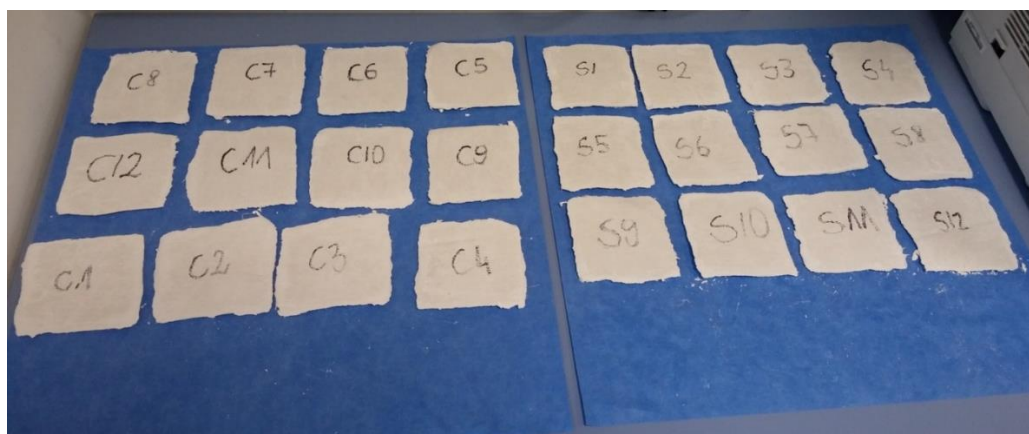
gdje je :

$$\frac{dF}{df} = \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Modul elastičnosti također se može odrediti iz nagiba pravca linearnog područja epruvete u dijagramima naprezanje-istezanje.

Razmak između oslonaca L iznosi 64 mm, a određen je na temelju početnih dimenzija pločica. Relativno mala brzina ispitivanja (7 mm/min) odabrana je zbog krhke prirode ispitivanih materijala. Mjerenja su provedena deseti dan nakon sadrenja kada je vlažnost svih sadrenih imobilizacija bila niža od 15%.

Početni ispitni uzorci su dimenzija 100x100 mm (slika 7).



Slika 7. Početni ispitni uzorci [3]

Tehnologija pripreme uzoraka definira poprečni presjek uzorka. Dok će tokarene metalne epruvete biti obično okruglog poprečnog presjeka, injekcijski prešane polimerne epruvete imati će pravokutni poprečni presjek. Epruvete za ispitivanje laminata u pravilu su pravokutnog poprečnog presjeka, a sam oblik i dimenzije epruvete ovise o vrsti materijala koji se ispituje. Za ispitivanje su korištene epruvete pravokutnog poprečnog presjeka širine 20 mm. Epruvete su izrezane iz pločica dimenzija 100x100 mm². Debljina ispitnih tijela ovisi o broju slojeva i načinu slaganja laminata, a duljina je definirana dimenzijama početnih pločica. Nakon izrezivanja potrebno je pomičnim mjerilom izmjeriti točne dimenzije epruveta (slika 8).



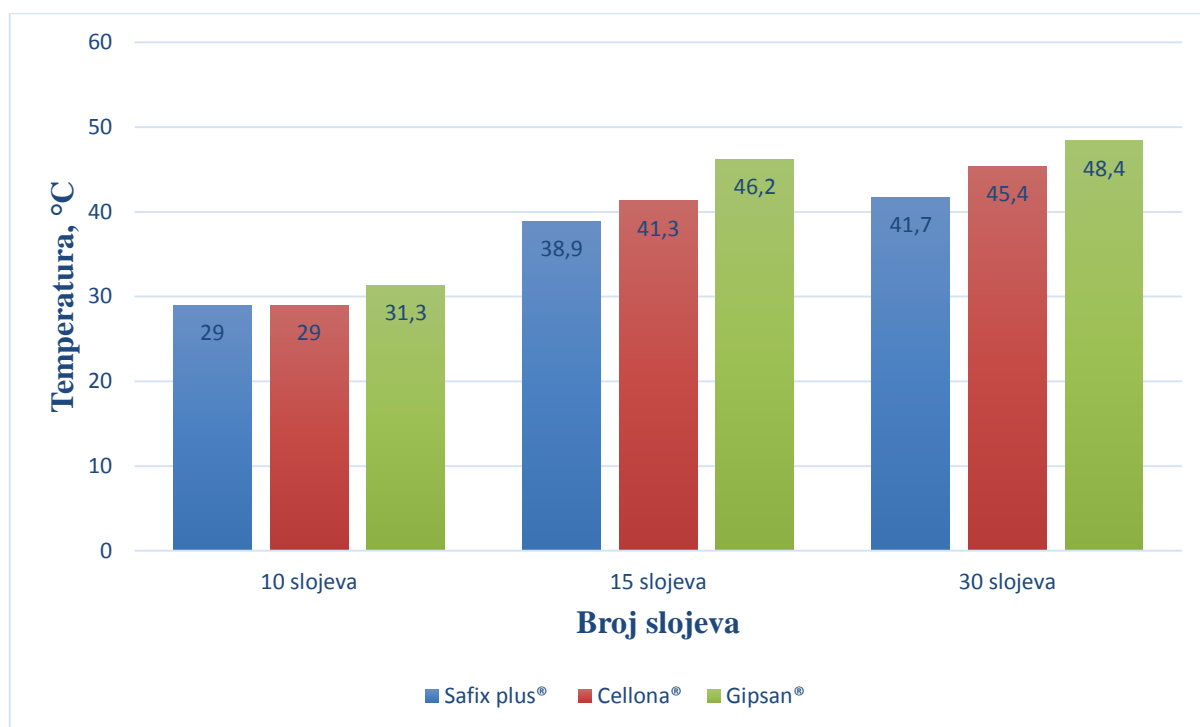
Slika 8. Mjerenje dimenzija ispitnih epruveta

Pločice izrađene od 15 i 30 slojeva sadrene su u vodi temperature 34 °C , dok su pločice od 10 slojeva sadrene u vodi temperature 22 °C. Za nastanak opekline, osim maksimalne temperature, bitno je i vrijeme izloženosti kože povišenoj temperaturi.

3. ANALIZA REZULTATA

3.1. Usporedba promjene temperatura sadrenja triju proizvođača

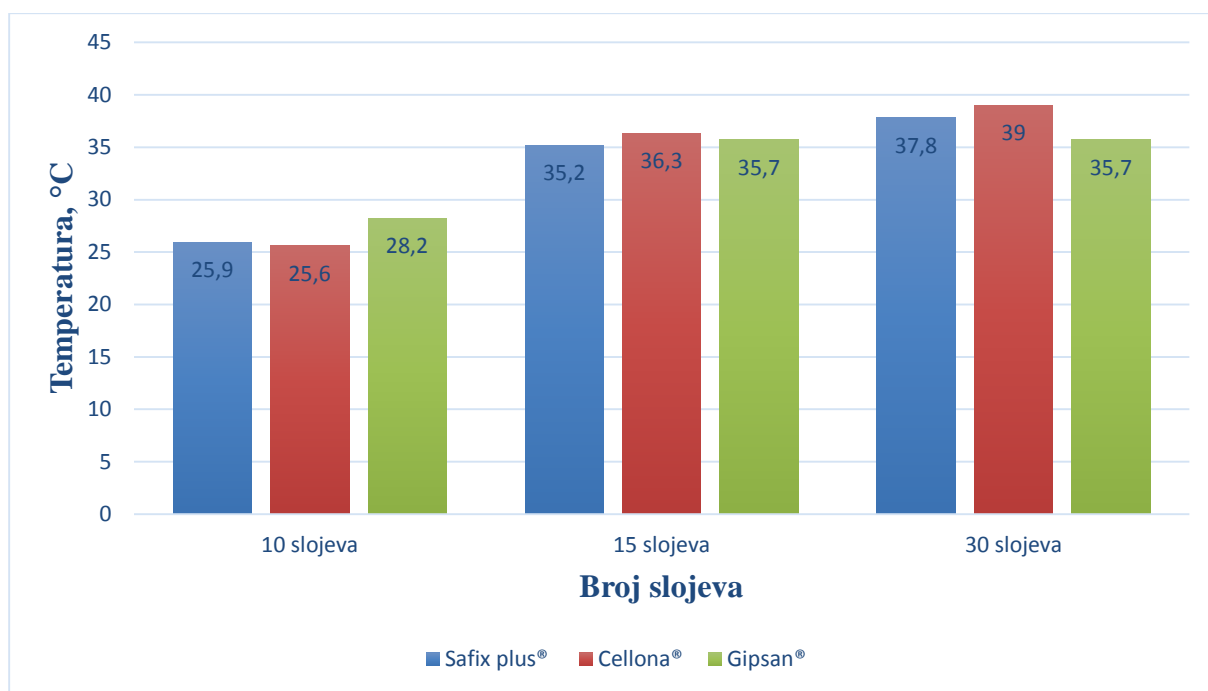
Maksimalne temperature pločica tijekom sadrenja prikazane su na slici 9.



Slika 9. Maksimalne prosječne temperature pločica

Mjerenjem površinskih temperatura sadrenih pločica jasno je kako s povećanjem broja slojeva sadrenog zavoja raste i maksimalna temperatura svih ispitivanih materijala. U standardnim uvjetima sadrenja, temperatura vode i temperatura zraka iznosi 22 °C. U tim uvjetima svi ispitivani materijali imaju slične egzotermne reakcije, a porast temperature pločica znatno je niži od kritičnih 40 °C. Najvišu temperaturu dosegao je Gipsan (31,3 °C). Posve drugačiji rezultati izmjereni su kada je temperatura vode namakanja iznosila 34 °C, a pločice slagane u 15 i 30 slojeva. Tako pločice izrađene od 15 slojeva Gipsan sadrenog zavoja najbrže dostižu 40 °C (5,5 minuta) te se temperatura iznad ove granice zadržava kroz 10 minuta. Cellona nakon 6,5 minuta prelazi granicu od 40 °C i ostaje iznad tokom 6 minuta, dok Safix plus ne prelazi 40 °C.

Najviša izmjerena površinska temperatura pločica izrađenih od 15 slojeva je na pločicama izrađenih sadrenim zavojem Gipsan i ona iznosi 46,0 °C. Sadrene pločice zavoja Gipsan načinjene od 30 slojeva zavoja, već nakon tri minute dostižu temperaturu od 40 °C, te zadržava se sljedećih 12,5 minuta. Sadrena pločica Cellona, nakon 4,5 minute prelazi temperaturu od 40 °C, i zadržava ju kroz 15 minuta, a Safix plus nakon 10 min te se zadržava najkraće, samo 7 minuta. Temperature nakon 20 minuta od sadrenja prikazane su na slici 10.



Slika 10. Temperature nakon 20 minuta od sadrenja

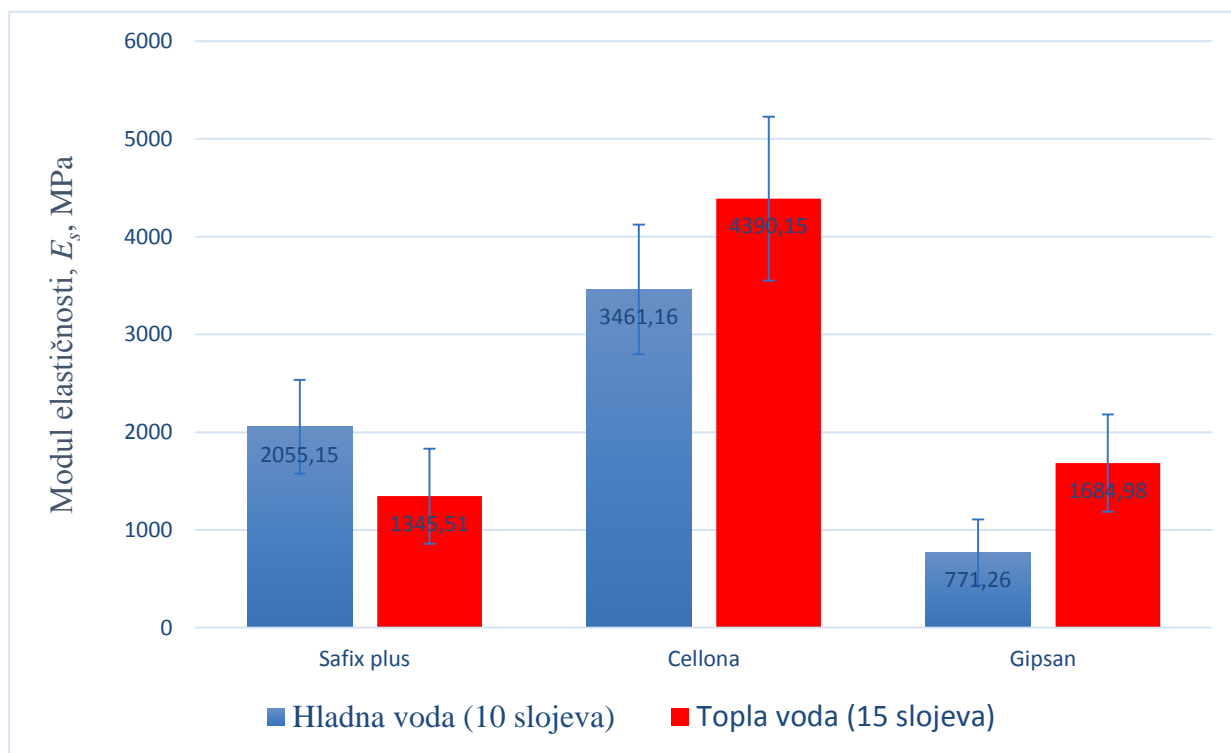
Svaka temperatura viša od 40 °C potencijalno je opasna, izaziva nelagodu, a kada dosegne 47 °C javlja se eritem, peckanje, ali i jaka bol [4]. Opasnosti su veće ako je prisutan natisak sadre na kožu ili je povišena temperatura konstantna kroz duži vremenski period. Analizom dijagrama može se uočiti velika razlika u oslobođenoj toplini između sadrenih pločica gipsanih u idealnim uvjetima i sadrenih pločica gipsanih pri povišenoj temperature vode i sadrenjem u veći broj slojeva. Gipsan je i u idealnim uvjetima postigao višu temperaturu od Safix plus i Cellone, što je posebno došlo do izražaja kada su se uvjeti promijenili. Iako je velika razlika u temperaturama, temperaturne krivulje su približno istog oblika za sva tri sadrena zavoja u različitim uvjetima. Pločice proizvođača Safix plus u usporedbi sa pločicama od druga dva proizvođača pokazale su najmanji porast temperature, tj. ona niti na jednoj pločici nije prelazila 41,7 °C. Najviše i potencijalno opasne temperature izmjerene su na pločicama sadrenog zavoja Gipsan, izrađenim od 30 slojeva zavoja, i sadrenog u vodi temperature 34 °C.

Nedostatak ovog ispitivanja su mjerenja površine sadrenih pripravaka u laboratorijskim uvjetima. Poznato je da unutarnja strana sadrene imobilizacije ima za oko 2 °C više vrijednosti temperature, nego se mjeri na površini, kod iste razine egzotermne reakcije [4]. Pored toga korištene su pločice veličine 10x10 cm, a u kliničkim uvjetima sadrena imobilizacija je cirkularna, veće je mase pa je za očekivati i više maksimalne temperature. Dobiveni rezultati se mogu koristiti samo kao usporedba tri proizvoda, u tri različite debljine, i dvije temperature sadrenja. Jedine objektivne vrijednosti temperatura, kao posljedice egzotermne reakcije mogu se dobiti mjerenjem temperature na površini kože ispod sadrene imobilizacije u realnim uvjetima.

3.2. Usporedba proizvođača prema savojnim svojstvima

3.2.1. Usporedba proizvođača prema modulu elastičnosti

Usporedba savojnog modula elastičnosti E_s izraženog u MPa, odnosno modula pri savojnom opterećenju, s obzirom na temperaturu vode sadrenja za tri različita proizvođača prikazana je na slici 11.

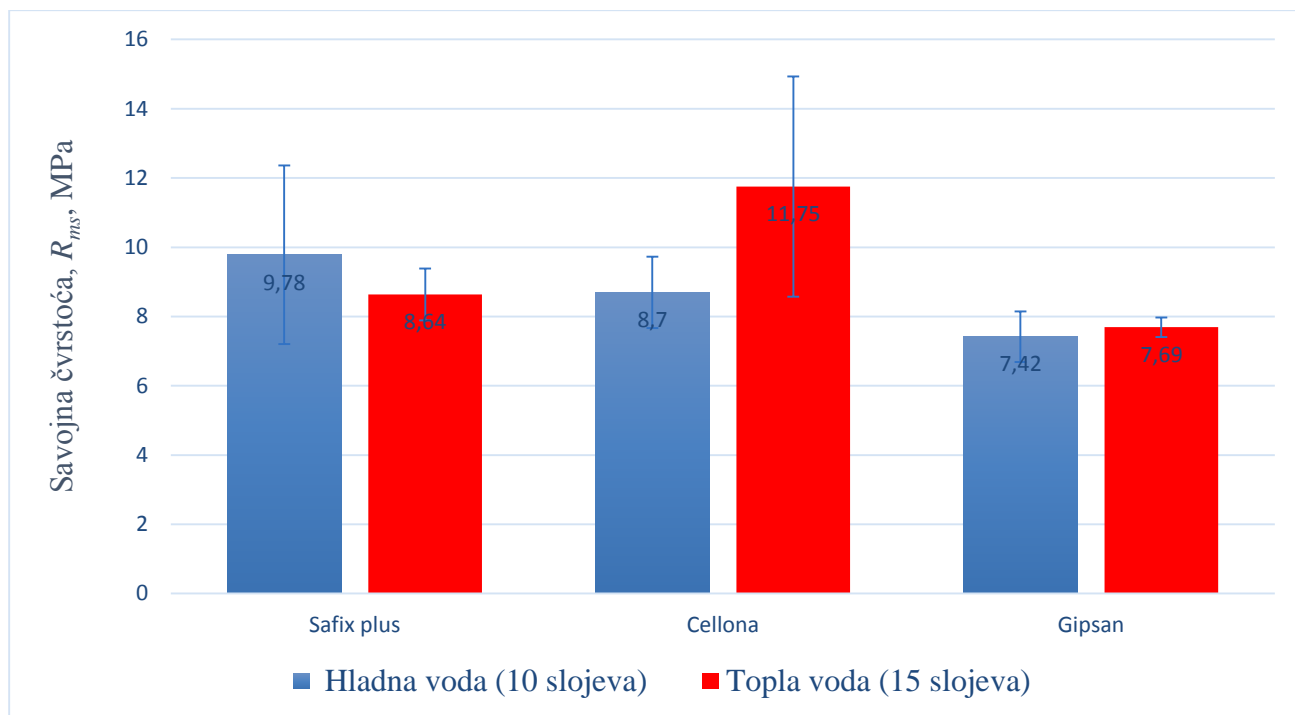


Slika 11. Usporedba savojnog modula elastičnosti E_s s obzirom na temperaturu vode

Sadreni zavoj proizvođača Cellona pokazuje najveću krutost, odnosno modul elastičnosti, bilo da se koristi voda temperature 22 °C ili 34 °C. Vrijednosti modula elastičnosti veće su kada temperatura vode namakanja iznosi 34 °C i zavoji se slažu u 15 slojeva kod proizvođača Cellona i Gipsan, dok Safix plus zavoji postižu više vrijednosti modula elastičnosti sadrenjem u hladnijoj vodi i korištenjem 10 slojeva sadrenog zavoja.

3.2.2. Usporedba proizvođača prema savojnoj čvrstoći

Na slici 12. prikazane su vrijednosti savojne čvrstoće R_{ms} izražene u MPa triju različitih proizvođača gipsanih zavoja u ovisnosti o temperaturi vode sadrenja.



Slika 12. Usporedba savojne čvrstoće R_{ms} s obzirom na temperaturu vode

Sadrenje u toplijoj vodi pozitivno utječe na savojnu čvrstoću kod pločica izrađenih gipsanim zavojem Cellona i Gipsan, dok pločice izrađene gipsanim zavojem Safix plus postižu više vrijednosti sadrenjem u hladnijoj vodi. Najviše vrijednosti savojne čvrstoće postigle su pločice izrađene gipsanim zavojem Cellona i to sadrene u vodi temperature 34 °C. Gipsan pločice postižu najniže vrijednosti savojne čvrstoće u svim segmentima.

4. Zaključak

Poznavanje egzotermne reakcije i mehaničkih svojstava sadrenih zavoja značajno utječe na sam tijek cijeljenja prijeloma. Pri očvršćivanju gipsa dolazi do porasta temperature gipsane imobilizacije. Temperature veće od 40 °C ukoliko se zadrže dulje vrijeme mogu izazvati opekline.

Mjerenjem fizikalnih i mehaničkih svojstava gipsanih zavoja triju različitih proizvođača doneseni su zaključci i preporuke u cilju postizanja najboljih svojstava gipsane imobilizacije.

Sve tri vrste sadrenih zavoja koji se koriste u Hrvatskoj u standardnim uvjetima sadrenja imaju nisku razinu egzotermne reakcije, a prosječne površinske temperature pločica su niske, te nema potencijalne opasnosti od opekline. Ako se sadrenje obavlja u vodi temperature 34 °C, a koristi se 15-30 slojeva gipsanog zavoja, razina egzotermne reakcije je takva da su postignute srednje vrijednosti temperatura od 40 °C - 49 °C. Sadreni zavoj Gipsan je razvijao najviše temperature, a neke pločice su bile ugrižane i do 50 °C. Razina egzotermnih reakcija ispitivanih sadrenih zavoja međusobno se razlikuju u svim ispitivanim uvjetima, posebno kod sadrenja vodom temperature 34 °C.

Pločice izrađene sadrenim zavojem Cellona postižu najbolja mehanička svojstva u svim uvjetima ispitivanja, dok pločice izrađene sadrenim zavojem Gipsan postižu najlošija svojstva.

U cilju postizanja najboljih mehaničkih svojstava gipsane imobilizacije u standardnim uvjetima sadrenja preporuka je koristiti sadrene zavoje Cellona. Ukoliko se imobilizacija ne odvija u standardnim uvjetima te postoji potreba slaganja imobilizacije u veći broj slojeva tada je preporuka koristiti Safix plus sadrene zavoje jer pokazuju najmanji porast temperature prilikom egzotermnog očvršćivanja.

LITERATURA

- [1] Chudnofsky C. R., Byers S., Roberts J. R., Hedges J.R., Chanmugam A.S., Clinical Procedures in Emergency Medicine, 4th Edition, Philadelphia, 2004.
- [2] Antabak A., Brajčinović M., Bradić L., Barišić B., Andabak M., Halužan D., Fuchs N., Haramina T., Ćurković S., Luetić T., Šiško J., Prlić I., Fizikalna svojstva sadrenih zavoja, Liječnički vjesnik, Studeni-Prosinac;137(11-12):372-6, Zagreb, 2015.
- [3] Antabak A., Brajčinović M., Bradić L., Barišić B., Andabak M., Halužan D., Fuchs N., Haramina T., Ćurković S., Luetić T., Šiško J., Prlić I., Egzotermna reakcija sadrenja, analiza tri vrste sadrenih zavoja, Studentski rad, Medicinski fakultet u Zagrebu, 2015.
- [4] Ahmed S., Carmichael KD Plaster and synthetic cast temperatures in a clinical setting: an in vivo study, Orthopedics 34(2):99, 2011.